



ANALISIS RISIKO KESTABILAN LERENG TAMBANG TERBUKA (STUDI KASUS TAMBANG MINERAL X)

Masagus Ahmad Azizi¹⁾, Suseno Kramadibrata²⁾, Ridho K. Wattimena²⁾, Indra Djati S³⁾,
Yan Adriansyah⁴⁾

¹⁾PhD Mining Engineering Department ITB& Mining Engineering Trisakti University;

²⁾Mining Engineering Department ITB;³⁾Civil engineering Department ITB;

⁴⁾Geotechnical Superintendent PT Newmont Nusa Tenggara

Abstrak

Kestabilan lereng tambang terbuka pada industri pertambangan merupakan salah satu isu penting saat ini mengingat sebagian besar perusahaan tambang di Indonesia meningkatkan produksinya. Akibatnya perusahaan tambang tersebut melakukan pelebaran dan pendalaman penggalian.

Semakin lebar dan dalam tambang terbuka tersebut dilakukan penggalian, maka tentunya akan semakin besar risiko yang akan muncul, atau semakin meningkatkan ketidakpastian pada faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng tambang terbuka. Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya risiko kelongsoran lereng mencakup sifat fisik dan mekanik batuan, kondisi air tanah, karakterisasi massa batuan, serta struktur yang ada pada batuan.

Paper ini mencoba menganalisis risiko baik dari aspek probabilitas kelongsoran maupun dampak yang ditimbulkan dari suatu longsor lereng pada studi kasus tambang mineral X. Probabilitas kelongsoran (PK) lereng dianalisis dari parameter masukan, sedangkan dampak dianalisis dari hasil observasi lapangan. Tentunya hasil analisis risiko ini dapat memberikan suatu keputusan tentang kondisi kestabilan lereng tersebut, dan dapat memperkuat data monitoring pergerakan lereng, sehingga dapat mereduksi risiko yang lebih besar akibat kelongsoran tersebut.

Kata Kunci : tambang terbuka, kestabilan lereng, risiko

A. PENDAHULUAN

Disain lereng merupakan seni dalam menentukan keseimbangan antara kemiringan lereng dan keuntungan bagi perusahaan tambang. Lereng yang semakin curam akan memaksimalkan perolehan penambangan, namun meningkatkan risiko kestabilan lereng. Sebaliknya lereng yang semakin landai akan menurunkan perolehan penambangan, namun merendahkan risiko kestabilan lereng (lereng cenderung lebih stabil).

Dalam disain lereng tambang, peran ahli geoteknik memiliki arti penting bagi perusahaan. Semakin banyak informasi atau data geoteknik yang dimiliki oleh ahli geoteknik tersebut, maka akan semakin besar peluang dilakukan optimasi pencuraman lereng tambang.

Sejumlah ketidakpastian yang menjadi faktor minimnya informasi atau data geoteknik yang dimiliki akan menyebabkan para ahli geoteknik selalu bekerja pada kondisi yang pesimis. Di samping itu juga sejauh ini di dalam disain lereng hanya digunakan satu indikator

kestabilan lereng yakni nilai faktor keamanan (FK), yang hanya menganggap nilai rata-rata parameter masukan sudah mewakili karakteristik masing-masing parameter masukan tersebut. Padahal secara alamiah seluruh parameter tersebut memiliki variasi nilai yang memiliki peluang sama untuk mewakili karakteristik masing-masing parameter. Oleh sebab itu diperlukan suatu cara yang dapat menjadi solusi kondisi tersebut.

Suatu pendekatan analisis risiko merupakan pendekatan yang komprehensif dalam menentukan kestabilan lereng tambang terbuka. Pendekatan ini merupakan fungsi dari probabilitas kelongsoran (PK) lereng dan dampak akibat longsor tersebut. PK lereng ditentukan dari adanya variasi nilai parameter masukan yang selanjutnya akan menghasilkan variasi nilai FK lereng. Dampak longsor ditentukan dari besaran volume longsor yang akan terjadi yang mengakibatkan kemungkinan kecelakaan (fatalitas dan/atau cidera), kerusakan peralatan, gangguan produksi, serta kerugian ekonomik lainnya. Tulisan ini selanjutnya akan



membahas lebih rinci mengenai masing-masing analisis tersebut pada studi kasus tambang mineral X.

B. KETIDAKPASTIAN DALAM DISAIN LERENG

Kesulitan dalam menentukan sudut lereng yang bisa diterima disebabkan oleh adanya ketidakpastian yang berkaitan dengan stabilitas lereng. Tabel 1 menyajikan sumber-

Tabel 1. Sumber-sumber ketidakpastian dalam lereng (*Steffen dkk, 2008*)

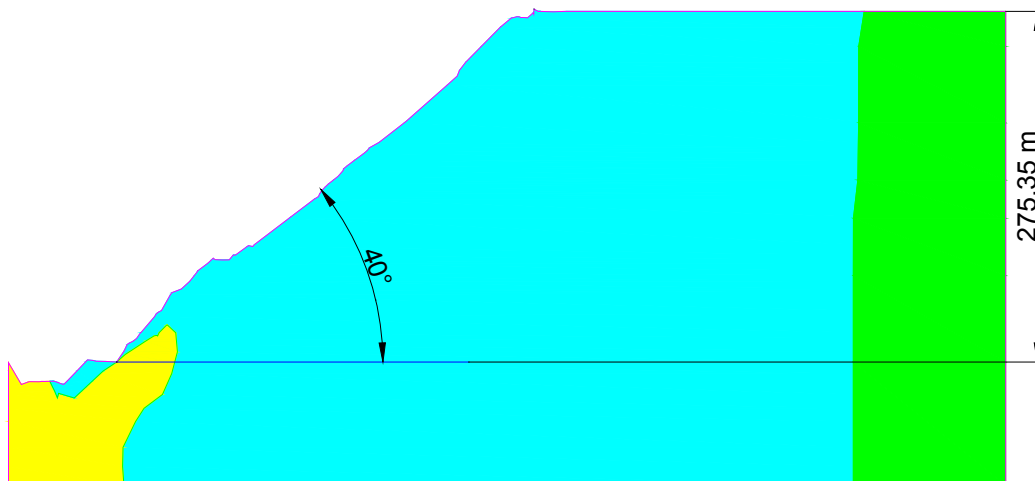
Aspek Lereng	Sumber Ketidakpastian
Geometri	Topografi, Geologi/Struktur, Muka air tanah (MAT)
Karakteristik	Kuat Geser, Deformasi, Konduktivitas hidrolik
Beban (Gaya Pengganggu)	Tegangan insitu, peledakan, gempa bumi
Prediksi Kelongsoran	Reliabilitas model

Pada lokasi tambang mineral X memiliki ketinggian lereng multi jenjang 275,35 meter dengan sudut lereng 40° . Mengingat faktor geometri menjadi salah satu aspek ketidakpastian dalam disain lereng, maka hal

sumber utama ketidakpastian dalam disain lereng, yang dipertimbangkan selama proses disain lereng dan beberapa pendekatan yang berbeda digunakan untuk maksud tersebut.

Ketidakpastian tersebut diakibatkan adanya variabilitas acak dari aspek yang dianalisis atau ketidakpastian terhadap aspek tersebut. Pengambilan data lapangan dan penyelidikan lokasi digunakan untuk mengurangi ketidakpastian dan mengetahui variabilitas alami.

pertama yang dilakukan melakukan analisis faktor keamanan dari geometri eksisting. Hasil analisis tersebut akan memberikan gambaran kemungkinan mengoptimasi geometri lereng pada probabilitas yang lebih stabil.



Gambar 1. Dimensi Lereng Multi Jenjang Tambang Terbuka

Untuk menentukan nilai FK tersebut, maka digunakanlah data sifat fisik dan mekanik batuan, serta karakterisasi massa batuan yang

dapat dilihat pada tabel 2, dengan nilai faktor kerusakan (*disturbance factor*=1).



Tabel 2. Distribusi Nilai Parameter Masukan

Lithology	Parameter Statistik	Bobot Isi (kPa)	GSI	UCS (MPa)	mi	mb	s	a	Em (GPa)
Volcanic	Rata ²	25,6	45,9	148,3	13,5	0,3240	0,00020	0,509	5,4763
	SD		7,6	65,3		0,1742	0,00030	0,005	3,5411
	Rel.Min		15,4	87,0		0,2000	0,00020	0,005	3,4000
	Rel.Max		11,8	107,1		0,3000	0,00060	0,013	7,0000
Diorite	Rata ²	24,6	42,1	59,2	32,2	0,5404	0,00010	0,510	2,5017
	SD		4,5	14,7		0,1996	0,00010	0,003	0,7881
	Rel.Min		6,0	14,6		0,2069	0,00010	0,005	0,8878
	Rel.Max		9,7	36,9		0,4883	0,00020	0,005	1,9002
Tonalite	Rata ²	25,5	41,6	92,6	27,8	0,4524	0,00008	0,511	3,0552
	SD		5,0	27,3		0,1511	0,00005	0,004	0,9916
	Rel.Min		7,4	26,1		0,1999	0,00006	0,004	1,0855
	Rel.Max		6,2	53,2		0,2176	0,00009	0,006	1,6975

C. PENDEKATAN KEAMANAN FAKTOR

Pendekatan disain lereng yang menggunakan FK sebagai indikator kestabilan lereng, didefinisikan sebagai rasio antara gaya penahan terhadap gaya penggerak sepanjang bidang permukaan longsor. Jika nilai FK = 1, maka lereng dalam kondisi kritis, dan jika FK lebih dari 1 lereng menjadi stabil/aman. Pendekatan FK merupakan suatu teknik deterministik disain yang menggunakan nilai rata-rata sebagai estimasi nilai yang mewakili seluruh variasi/ketidakpastian faktor masukan.

Ada 2 kelemahan utama pendekatan FK untuk disain lereng, yakni : 1. Nilai ambang

batas FK minimum didasarkan pada jumlah kasus yang terbatas dan kombinasi pengaruh banyak faktor, sehingga sulit untuk diterapkan pada kondisi tertentu. 2. Nilai FK tidak memberikan suatu skala linier terhadap penilaian probabilitas kelongsoran lereng.

Tabel 3 menyajikan hasil analisis stabilitas lereng pada kondisi lereng eksisting ternyata menghasilkan FK kritis sebesar 1,06; sehingga untuk menaikkan nilai FK lereng tersebut perlu menurunkan sudut lereng menjadi 35° yang menghasilkan FK sebesar 1,22. Untuk menjawab probabilitas kelongsoran lereng dengan masing-masing FK tersebut dapat dilihat pada bagian analisis probabilitas kelongsoran.

Tabel 3. Geometri Eksisting dan Redisain

Kondisi Lereng	Geometri		Tak Jenuh		Jenuh	
	Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng (°)	FK deterministik	FK rata ²	FK deterministik	FK rata ²
Eksisting	275,35	40	1,88	1,96	1,01	1,06
Redisain	275,35	35	2,04	2,112	1,20	1,22

D. PENDEKATAN PROBABILITAS KELONGSORAN

Metode ini merupakan suatu pendekatan yang mempertimbangkan seluruh variasi yang ada pada parameter masukan yang menghasilkan nilai FK tertentu. Hal ini

didasarkan bahwa nilai seluruh parameter masukan acak tersebut memiliki peluang yang sama dalam menghasilkan FK tertentu akibat adanya ketidakpastian dari seluruh parameter masukan. Cara ini lebih merepresentasikan nilai variasi alami yang dimiliki masing-masing parameter masukan mengingat dalam

pengambilan data parameter masukan tersebut sangatlah minim dengan pertimbangan biaya uji yang mahal.

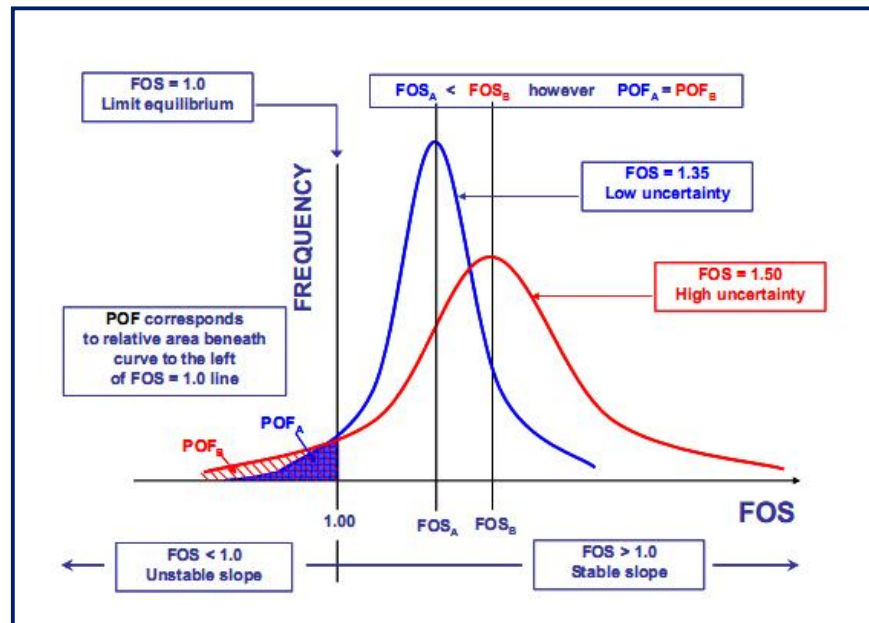
Secara garis besar, kelongsoran lereng tambang terbuka terjadi pada beberapa kondisi berikut ini :

- a. *Global Failure (Longsor Besar)*
Lereng keseluruhan (*overall slope*) longsor yang dapat membahayakan keselamatan pekerja dan keberlangsungan tambang. Longsor ini memerlukan waktu rehabilitasi cukup lama, mengganggu jadual produksi dan pemenuhan kontrak penjualan.
- b. *Inter-ramp Failure (Longsor multi jenjang)*

Longsor yang terjadi pada lebih dari 1 jenjang, dan kadangkala merusak jalan angkutan ke tambang.

- c. *Bench Failure (Longsor tunggal)*
Kelongsoran lereng hanya mempengaruhi operasi produksi di sekitar jenjang yang longsor

Gambar 2 menyajikan konsep probabilitas kelongsoran dan besaran ketidakpastian (Steffen dkk, 2008). PK lereng ditentukan dari perbandingan antara luas area di bawah kurva dari distribusi nilai $FK < 1$ terhadap distribusi nilai $FK \geq 1$. Makin besar rentang distribusi nilai FK, maka makin tinggi ketidakpastian dari nilai FK dengan nilai PK yang sama.



Gambar 2. Konsep Probabilitas Kelongsoran dan besaran ketidakpastian
(Steffen dkk., 2008)

Secara definisi ada hubungan linier antara nilai PK dengan peluang (*likelihood*) kelongsoran, sementara tidak berlaku untuk hubungan FK dengan peluang kelongsoran. FK yang besar tidak menggambarkan lereng yang lebih stabil, karena besaran ketidakpastian yang implisit tidak ditangkap oleh nilai FK. Lereng dengan nilai FK= 3 bukan berarti 2 kali lebih stabil daripada FK 1.5, sementara lereng dengan nilai PK 5 % menunjukkan 2 kali lebih stabil dari lereng dengan nilai PK 10 %.

Sejumlah penelitian mengenai probabilitas kelongsoran lereng yang dilakukan secara komprehensif telah dilakukan oleh *Masagus A.Azizi dkk.* (2010, 2011, 2012), yang mencoba melakukan karakterisasi parameter sifat fisik dan mekanik batuan, dan menentukan PK lereng dari beberapa tambang batubara di Indonesia.

Hal yang paling penting juga adalah penentuan ambang batas (*acceptance criteria*) nilai PK untuk kestabilan lereng tambang terbuka. Beberapa peneliti telah mendefinisikan



ambang batas nilai PK seperti Priest & Brown (1983) dan Pine (1992). Namun acuan tersebut masih bersifat umum untuk seluruh jenis lereng. SRK (2010) mengeluarkan nilai ambang batas PK lereng pada beberapa kategori lereng, yang dapat dijadikan acuan dalam disain lereng (Tabel 4). Pada konteks kasus yang dibahas

dalam penelitian ini, maka lereng yang dimaksud adalah termasuk kategori lereng multi jenjang (interramp) sehingga ambang batas PK maksimum sebesar 25%, artinya bila dalam analisis kestabilan lereng diperoleh PK lereng di atas 25 %, maka lereng tersebut tidak stabil.

Tabel 4. Ambang Batas Nilai FK & PK Lereng Tambang Terbuka (SRK 2010)

Jenis Lereng	Dampak Longsoran	FK (min) (Statik)	FK _{min} (Dinamik)	PK _{max} P[FK<1]
Tunggal/Jenjang (<i>Bench</i>)	Low-High	1.1	NA	25-50%
Multi Jenjang (<i>Interramp</i>)	Low	1.15-1.2	1.0	25%
	Medium	1.2	1.0	20%
	High	1.2-1.3	1.1	10%
Keseluruhan (<i>Overall</i>)	Low	1.2-1.3	1.0	15-20%
	Medium	1.3	1.05	5-10%
	High	1.5	1.1	≤5%

Beberapa metode yang bisa digunakan untuk menentukan probabilitas kelongsoran antara lain, metode estimasi titik (*Point Estimate Method*), metode Kubik Hiperlatin (*Hyperlatin Cube Method*), dan Simulasi Monte Carlo (*Monte Carlo Method*). Pada penelitian ini menggunakan metode Simulasi Monte Carlo. Prinsip metode ini adalah dapat memperbanyak variasi nilai FK mengikuti jenis distribusi yang diasumsikan/ditentukan. Guna mempermudah penentuan nilai PK lereng pada kondisi lereng di atas, maka digunakan bantuan Program Excel dan Slide yang memiliki perangkat perhitungan ini.

eksisting lereng jenuh memiliki PK lereng sebesar 34.4% atau dengan kata lain lereng tidak stabil (ambang batas PK maksimum 25%). Setelah dilakukan redesign, PK lereng menjadi 1,5 %

Tabel 5 menyajikan hasil perhitungan nilai PK lereng yang menggambarkan kondisi

Tabel 5. Keluaran Analisis Faktor Keamanan dan Probabilitas Kelongsoran

Keluaran	Eksisting		Redesain	
	Tak Jenuh	Jenuh	Tak Jenuh	Jenuh
FK Deterministik	1,88	1,01	2.04	1.20
FK rata-rata	1,96	1,06	2.12	1.22
PK (%)	0.00	34.4	0.00	1.5



E. ANALISIS KELONGSORAN

Penelitian tentang analisis dampak ini telah dilakukan oleh *Terbrugge dkk* (2006) dan *steffen dkk* (2008) yang mencakup analisis dampak keselamatan dan ekonomi.

Menurut *Terbrugge* (2006), dampak akibat kelongsoran lereng tambang terbuka sebagai berikut :

- ☐ Cidera dan/atau fatalitas terhadap karyawan
- ☐ Kerusakan peralatan
- ☐ Dampak ekonomi pada produksi (produksi terhenti)
- ☐ Kondisi tanggap darurat (*force majeure*) bila produksi tidak memenuhi kontrak penjualan
- ☐ Tindakan industrial
- ☐ Hubungan masyarakat : resistensi stakeholder, dampak lingkungan, dsb.

Menurut *Terbrugge* (2005), dampak ekonomi akibat kelongsoran lereng tambang terbuka mencakup beberapa kemungkinan di bawah ini :

- ☐ Biaya Pembersihan (*clean-up cost*) : biaya pemindahan material longsor dan penyiapan lokasi penambangan dapat segera dilakukan.
- ☐ Remediasi lereng : Lereng mungkin harus dipotong untuk mencegah longsor lanjutan akibat lereng bagian atas yang lebih curam, atau sistem support dibutuhkan.
- ☐ Perbaikan jalan angkutan dan pembukaan akses jalan : jalan angkutan dan ramp mungkin rusak dan pembukaan akses jalan tersebut menuju tambang

harus dipertimbangkan. Perhitungan ini seharusnya mempertimbangkan penggunaan jalan angkutan alternatif, dan biaya yang berkaitan jika hanya ada satu ramp ke dalam pit yang rusak.

- ☐ Pemindahan Peralatan : Biaya pemindahan peralatan ke bagian lain dari tambang sehingga dapat lebih produktif.
- ☐ Kerusakan peralatan dan infrastruktur : Biaya penggantian peralatan dan infrastruktur. Hal ini menjadi pertimbangan penting untuk kasus di mana suatu fasilitas pengolahan dekat dengan lokasi crest lereng tambang.
- ☐ Biaya yang berkaitan dengan fatalitas dan cidera : Biaya ini termasuk biaya industrial dan aksi legal.
- ☐ Gangguan produksi : Hal ini mempengaruhi kontrak dan biaya pemenuhan terhadap kontrak.

Salah satu cara yang dilakukan dalam analisis dampak kelongsoran lereng dapat dilakukan dengan cara memanfaatkan data monitoring pergerakan lereng. Observasi visual juga dilakukan guna mengkonfirmasi pergerakan lereng tersebut. Pada akhirnya waktu dan radius (termasuk volume) longsor dapat diprediksi, yang memungkinkan tindakan pencegahan dilakukan guna meminimalkan dampak fatalitas dan kerugian ekonomi.

Studi kasus pada tambang mineral X telah membuktikan analisis dampak longsor yang terjadi pada waktu yang telah diperkirakan, sehingga operasi produksi tidak dilakukan pada rentang waktu potensi terjadinya longsor tersebut (Gambar 3).



Gambar 3. Longsoran yang dapat diprediksi dari data monitoring

F. PENDEKATAN ANALISIS RISIKO

Pendekatan analisis risiko mencoba untuk memecahkan kelemahan utama dari pendekatan sebelumnya dengan mendasarkan pada pemilihan kriteria kemampooterimaan yang memadai. Risiko dapat didefinisikan sebagai berikut :

Risiko = PK lereng x Dampak Kelongsoran

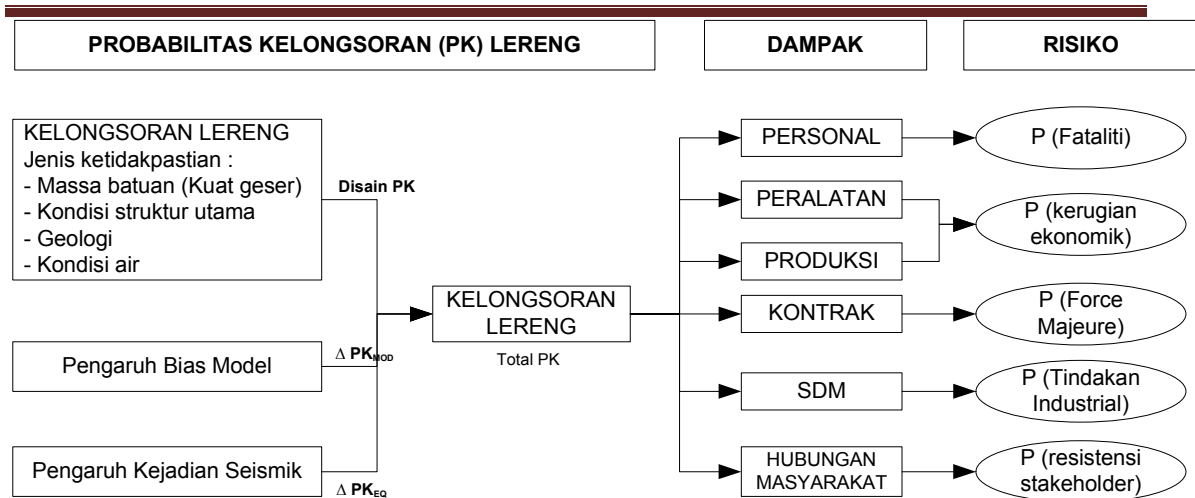
PK yang dihitung sebagai bagian dari proses disain biasanya didasarkan pada perhitungan model stabilitas lereng. Karena analisis risiko merancang kriteria kemampooterimaan terhadap dampak dengan lebih dari satu peluang kejadian, maka evaluasi yang mendalam terhadap PK lereng sangat diperlukan, yakni dengan memasukkan sumber-sumber ketidakpastian lainnya yang tidak dihitung dalam model stabilitas lereng. Untuk maksud tersebut dan analisis dampak kelongsoran lereng, maka sumber-sumber informasi non formal (penilaian keteknikan dan para pakar) dimasukkan ke dalam proses dengan bantuan metode seperti pengembangan analisis diagram logika dan pohon kejadian (*event tree*). Teknik tersebut telah digambarkan secara rinci oleh Harr (1996), Vick (2002) dan Baecher dan Christian (2003).

Menurut Rausand (2005) analisis risiko mencakup definisi lingkup risiko, identifikasi risiko, dan estimasi risiko.

Ada banyak metode yang tersedia dalam pengembangan proses dampak risiko. Namun semuanya mengandung tahap-tahap umum seperti yang digambarkan dalam pedoman yang dikeluarkan oleh Australian Geomechanics Society (2000)[7], yakni :

- Identifikasi bahaya yang menyebabkan timbulnya kejadian
- Mengkaji peluang atau probabilitas terjadinya kejadian risiko
- Mengkaji dampak bahaya longsor
- Mengkombinasikan probabilitas dan dampak untuk menghasilkan kajian risiko
- Membandingkan risiko yang dihitung dengan kriteria benchmark untuk menghasilkan suatu kajian risiko
- Penggunaan kajian risiko sebagai suatu bantuan terhadap pengambilan keputusan

Diagram yang disajikan pada gambar 4 mengilustrasikan pendekatan yang digunakan untuk analisis dampak risiko lereng. Lingkup yang didefinisikan untuk tulisan ini mencakup hanya 4 dampak pertama.



Gambar 4. Metodologi Untuk Evaluasi Risiko Kelongsoran Lereng (Steffen dkk, 2008)

G. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat dirangkum dari makalah ini sebagai berikut :

- ❑ Sejumlah ketidakpastian yang menjadi faktor minimnya informasi atau data geoteknik yang dimiliki akan menyebabkan para ahli geoteknik selalu bekerja pada kondisi yang pesimis.
- ❑ Hasil perhitungan nilai PK lereng menggambarkan kondisi eksisting lereng jenuh memiliki PK lereng sebesar 34.4% atau dengan kata lain lereng tidak stabil (ambang batas PK maksimum 25%). Setelah dilakukan redesain, PK lereng menjadi 1,5 %.
- ❑ Studi kasus analisis dampak pada tambang mineral X dapat mencegah terjadinya fatalitas dan mereduksi kerugian ekonomi yang lebih besar. Cara yang dilakukan dalam analisis dampak tersebut dengan memanfaatkan data monitoring pergerakan lereng. Observasi visual juga dilakukan guna mengkonfirmasi pergerakan lereng tersebut. Pada akhirnya waktu dan radius (termasuk volume) longsoran dapat

diprediksi, yang memungkinkan tindakan pencegahan dilakukan guna meminimalkan dampak fatalitas dan kerugian ekonomi.

- ❑ Analisis risiko diperlukan dalam memprediksi kemungkinan longsoran lereng tambang terbuka serta dampak yang diakibatkan oleh longsoran tersebut.
- ❑ Peranan faktor eksternal sebagai salah satu pemicu longsoran tidak bisa diabaikan seperti curah hujan dan aktifitas peledakan.

H. PUSTAKA

- a. Australian Geomechanics Society, 2000, "Landslide Risk Management Concepts and Guidelines", Australia.
- b. Baecher, G.B., and J.T. Christian. 2003. Reliability and statistics in geotechnical engineering. Wiley, Chichester, U.K.
- c. Chiwaye, H.T., 2010, 'A Comparison of the limit equilibrium and numerical modelling approaches to risk analysis for open pit mine slope', south African.



-
- d. Harr, M.E. 1996. Reliability-based design in civil engineering. Dover Publications, Inc., Mineola, New York.
 - e. Rausand, M., 2005, "Risk Analysis An Introduction", Norwegian University of Science and Technology.
 - f. Steffen, O.K.H., Contreras, L.F., Terbrugge, P.J., Venter, J., 2008, "A Risk Evaluation Approach for Pit Slope Design", the 42nd US Rock Mechanics Symposium and 2nd US-Canada Rock Mechanics Symposium, San Francisco.
 - g. Steffen, O.K.H, 2008, "Mine Planning- Its Relationship to Risk Management".
 - h. Terbrugge, P.J., Wesseloo, J., Venter, J., Steffen, O.K.H., 2006, "A Risk Consequence Approach to Open Pit Slope Design", The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, Vol.106.
 - i. Vick, S.G. 2002. Degrees of belief: subjective probability and engineering judgment. ASCE, Reston, Va.